

基于色调映射的沙尘视频快速增强算法*

钱绪泽¹, 赖惠成^{1,2†}, 高古学¹, 陈豪¹

(1. 新疆大学 信息科学与工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830017; 2. 新疆大学 信号检测与处理自治区重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830017)

摘要: 沙尘条件下, 由于悬浮在大气中的颗粒吸收和散射大气光导致采集到的图像偏色严重、边缘模糊、对比度低, 这使得视频图像质量严重下降, 同时我们在对视频进行处理时也面临着Halo效应、画面亮度闪烁以及算法时间复杂度高等问题. 针对这些问题, 我们提出了一种基于Monge-Kantorovitch线性色调映射(Monge-Kantorovitch linear colour mapping, MKLCM)的沙尘视频快速增强算法, 首先利用基于统计的方法和全局直方图均衡化算法去除沙尘视频帧的色偏, 为了减少噪声和提升图像的细节, 利用MKLCM算法对视频帧进行进一步增强, 最后根据蓝通道相关性将视频帧的统计量应用到后面的视频帧处理中, 防止画面亮度出现闪烁的同时增加算法的实时性. 与其他最新算法对比, 并通过主客观分析, 实验结果表明该算法能够有效快速地解决视频色偏、对比度低等问题, 增强了沙尘视频的整体效果.

关键词: 色调映射; 沙尘天气; 视频增强; 线性拉伸; 统计量; 偏色校正

DOI: 10.13568/j.cnki.651094.651316.2021.01.05.0002

中图分类号: TP317.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7675(2022)02-0197-09

引文格式: 钱绪泽, 赖惠成, 高古学, 陈豪. 基于色调映射的沙尘视频快速增强算法[J]. 新疆大学学报(自然科学版)(中英文), 2022, 39(2): 197-205.

英文引文格式: QIAN Xuze, LAI Huicheng, GAO Guxue, CHEN Hao. Fast enhancement algorithm for sand and dust video based on tone mapping[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition in Chinese and English), 2022, 39(2): 197-205.

Fast Enhancement Algorithm for Sand and Dust Video Based on Tone Mapping

QIAN Xuze¹, LAI Huicheng^{1,2}, GAO Guxue¹, CHEN Hao¹

(1. School of Information Science and Engineering, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830017, China;

2. Key Laboratory of Signal Detection and Processing, Xinjiang University, Urumqi Xinjiang 830017, China)

Abstract: Under sandy and dusty conditions, the particles suspended in the atmosphere absorb and scatter atmospheric light, resulting in severe color cast, blurred edges, and low contrast of the collected images, which causes a serious degradation of the video image quality, and we also face the problems of Halo effect, flickering of the screen brightness, and high time complexity of the algorithm when processing the video. To solve these problems, we propose a fast enhancement algorithm for sand video based on Monge-Kantorovitch linear color mapping(MKLCM), which firstly uses a statistical method and a global histogram equalization algorithm to remove the sand video frames color skew. In order to reduce the noise and enhance the details of the image, the video frame is further enhanced using the MKLCM algorithm, and finally the statistics of the video frame are applied to the later video frame processing according to the blue channel correlation to prevent the flicker in the brightness of the screen while increasing the real-time performance of the algorithm. Compared with other latest algorithms and through subjective and objective analysis, the experimental results show that the algorithm can effectively and quickly solve the problems of video color shift and low contrast, and enhance the overall effect of the sandy video.

Key words: chromatic mapping; dusty weather; video enhancement; linear stretching; statistics; color cast correction

0 引言

由于西北和北方部分地区天气较为干燥, 同时植被覆盖少, 气流将干燥土壤中的尘土带到空气中形成沙尘

* 收稿日期: 2021-01-05

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(U1803261; U1903213).

作者简介: 钱绪泽(1995-), 男, 硕士生, 从事视频图像处理方面的研究, E-mail: 18369670210@163.com.

† 通讯作者: 赖惠成(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事视频图像信息处理、图像理解与识别方面的研究, E-mail: lai@xju.edu.cn.

天气. 沙尘天气下采集视频图像时, 由于空气中悬浮的沙尘颗粒对光的吸收和散射等原因, 导致图像出现细节损失、色彩偏移、对比度降低等现象, 严重降低了视频质量. 而智能交通、卫星监测、智慧城市及国防建设都需要高质量的视频, 它是系统正常运行的前提, 因此研究沙尘图像的实时视频增强对扩展计算机视觉的应用具有重要的意义.

目前, 国内外对于沙尘视频处理的研究成果很少, 主要是基于单幅图像的沙尘可视化算法对视频帧进行处理, 以达到沙尘视频去沙尘的目的. 基于单幅图像的沙尘图像增强^[1-3]和图像恢复^[4-7]算法已有不少研究成果. 沙尘可视化算法主要分为基于图像增强的算法和基于图像恢复的算法, 其中沙尘图像处理面临的主要问题是色彩偏移和图像细节模糊. 基于恢复的算法主要是在图像去雾算法的基础上改进的算法. He等^[8]在大气散射模型的基础上提出了暗通道先验, 达到了较好的去雾效果, 但是沙尘和雾图形成原因不同, 这种方法对于沙尘图像的恢复效果比较差. 江海蓉^[9]在灰度世界原理的基础上结合暗通道先验进行除沙尘, 虽然有效提升了对比度, 但色偏问题较为严重. 李策等^[10]先将图片进行色调增强, 然后基于暗通道先验算法改进大气光的选取来清晰图像, 消除Halo效应, 然后通过CLAHE算法来消除远景雾. Shi等^[11]先在Lab空间利用灰度世界原理进行颜色校正, 再通过改进的暗通道先验算法恢复图像, 最后通过CLAHE和引导滤波增强细节和减少伪影, 这种算法在增强图像的对比度、恢复细节边缘方面表现很好, 但是图像色调不自然, 同时时间复杂度过高, 在视频处理方面的表现不好. Yang等^[12]通过参考曲线让绿色通道和蓝通道去拟合红色通道, 然后利用高斯自适应传输通过线性约束去细化传输, 抑制光晕伪影, 虽然提升了对比度, 去除了偏色, 但是对于天空区域仍有光晕伪影出现, 同时远景区域的图像对比度提升不明显. 以上这些方法是基于除雾算法改进的图像去沙尘算法的研究成果, 主要思路是在去除偏色后利用改进的去雾算法对沙尘图像进行处理, 但是由于沙尘和雾霾形成的原理不同, 沙尘主要是大颗粒, 而雾霾是小颗粒, 导致恢复的效果不是很好, 容易出现色彩失真的问题, 同时恢复算法在复原图像的时候对于资源的消耗比较大, 不能满足监控视频所需要的实时性. 基于恢复的单幅图像的沙尘处理算法, 应用到视频上时, 每幅图像的大气光选取不同会导致图像连续性不能满足, 出现亮度闪烁等现象. 基于增强的方法, 延婷等^[13]通过将图像在模糊域上用PAL算法进行处理, 然后通过CLAHE增强图像对比度, 最后通过POSHE对细节部分进行增强, 该算法会出现细节丢失、去偏色效果不好、块状效应等现象, 导致应用到视频处理时连续性不强^[14], 效果不佳, 同时算法的耗时较长, 实时性不高. 智宁等^[15]在空间域分析了RGB各个通道的颜色直方图的特点, 提出一种沙尘降质图像清晰化算法, 首先根据沙尘图像特点对通道采用高斯模型建模, 然后根据高斯模型特点进行颜色校正, 最后利用基于改进的奇异值分解对颜色调整后的沙尘图像进行对比度增强, 算法在处理景深程度较大的沙尘图像时效果不佳. 高古学等^[16]通过融合CLAHE和改进的MSRCR进行沙尘图像增强, 算法在处理色偏和增强对比度上有较好的表现, 但在一些图片上可能出现色彩失真的现象. 这些算法在图像处理效果上有各自的优势, 但是应用在视频上进行处理时会面临实时性和连续性不高, 同时也达不到所要求的普适性, 导致沙尘视频处理的效果不好.

本文针对沙尘视频不清晰、色偏严重以及基于单幅图像去沙尘算法应用到视频上时出现的由于实时性和连续性不满足导致的闪烁卡顿问题, 受到基于色调迁移的水下图像去噪^[17-18]启发提出了一种基于MKLCM (Monge-Kantorovitch linear colour mapping)^[19]和基于统计学方法的沙尘视频增强算法. 先针对沙尘RGB三通道直方图分布不均衡提出一种简单的统计方法对直方图进行线性映射, 然后通过全局直方图均衡化对图像进行非线性拉伸, 去除色偏和增强细节, 针对产生的光晕等问题引入色彩迁移, 因为色彩迁移在复杂光线环境下可以很好地校正颜色, 所以将增强后的图像作为参考图, 利用MKLCM算法对图像进行处理, 提出蓝通道相关阈值, 在节省计算资源的同时防止由于视频帧间变化过大导致的闪烁问题等, 以满足视频的实时性和连续性. 该算法在处理沙尘视频时能够较好快速地处理色偏、增强细节, 使处理后的视频图像更加流畅自然.

1 算法描述

现有的视频去沙尘算法大多是基于单幅图片的去沙尘算法, 基于恢复的算法中根据去雾算法改进的去沙尘算法, 由于沙尘和雾霾图像的成像原理不同导致图像色偏的校正效果一般, 同时算法时间复杂度过高. 而基于增强的沙尘视频清晰化算法如文献[13]、文献[3]的算法对于图像的去沙尘效果不好, 偏色矫正效果欠缺的同时会出现光晕伪影甚至色彩失真等现象. 本文所提算法在处理视频帧时, 很好地去除了色偏、图像颜色表现自然,

在提升了对比度的同时具有较好的实时性.

1.1 基于统计学原理和直方图的色彩校正

沙尘环境下对视频图像采集的影响首先是色彩的偏移. 由于沙尘天气下空气中悬浮的沙尘颗粒对蓝色光的吸收和对红色光的反射, 导致沙尘图像RGB三通道的直方图分布不均衡, 同时存在分布较为集中、带宽较窄的问题, 这使得图像整体看起来偏黄和偏红. 色彩偏移的问题是视频图像去沙尘要解决的首要问题.

沙尘图片与真实的场景图片在直方图的分布上有明显区别. 沙尘图片其三通道直方图具有偏移性, 要调整三通道的偏移性, 以往的研究方法是通过对直方图进行建模, 这样虽然能解决这个问题, 但是也有可能会导致色彩失真等问题, 同时会使得算法的计算量过大. 在文献[20]的研究中提到了基于统计学原理的颜色校正, 这种方法能以较少的时间复杂度去除偏色, 沙尘图像定义为 O , 本文根据沙尘图像的特性在这种方法的基础上提出了一种新的方法, 选用方差来代替文献[20]中使用的均方差, 并通过公式(1)、公式(2)来计算颜色偏移的最大值和最小值:

$$O_{\max}^c = O_{\text{mean}}^c + \eta O_{\text{var}}^c \quad (1)$$

$$O_{\min}^c = O_{\text{mean}}^c - \eta O_{\text{var}}^c \quad (2)$$

式中: $c \in [R, G, B]$, O_{mean}^c 表示该通道的灰度平均值, O_{var}^c 是图像 c 通道的方差, 表示图像的色彩偏移的高频部分, 使用方差可以比文献[20]算法中使用均方差保留更多蓝绿通道的细节部分, η 是控制图像饱和度的参数. O_{\max}^c 和 O_{\min}^c 分别表示色偏的最大估计值和最小估计值. 然后通过公式(3)将原图像素映射为新的图像:

$$O_{IR}^c = \frac{O^c - O_{\min}^c}{O_{\max}^c - O_{\min}^c} \times 255 \quad (3)$$

这个时候得到的图像 O_{IR}^c 颜色集中在一个区域, 偏离性减少, 同时真实世界中图片的颜色分布是均衡的, 这种简单的统计方法可以以较少的资源消耗使三通道的直方图移动到一个相近的位置, 如图1所示. 但是这会图像的动态范围造成一定程度的压缩, 而全局直方图均衡化可以通过非线性映射的方式将直方图拉伸到0~255的范围之间, 使得直方图的分布更加均匀、动态范围更广, 在提升对比度的同时, 可以有效地去除色偏, 同时全局算法^[21-22]可以使图像在表现上更加自然, 不会出现结构失真等问题, 直方图分布更加接近真实场景图片. 全局直方图均衡化算法的主要思想是将直方图分布拟合为均匀分布, 使其动态范围分布为整个直方图区域, 主要利用累计概率密度函数作为映射函数, 对像素进行转换.

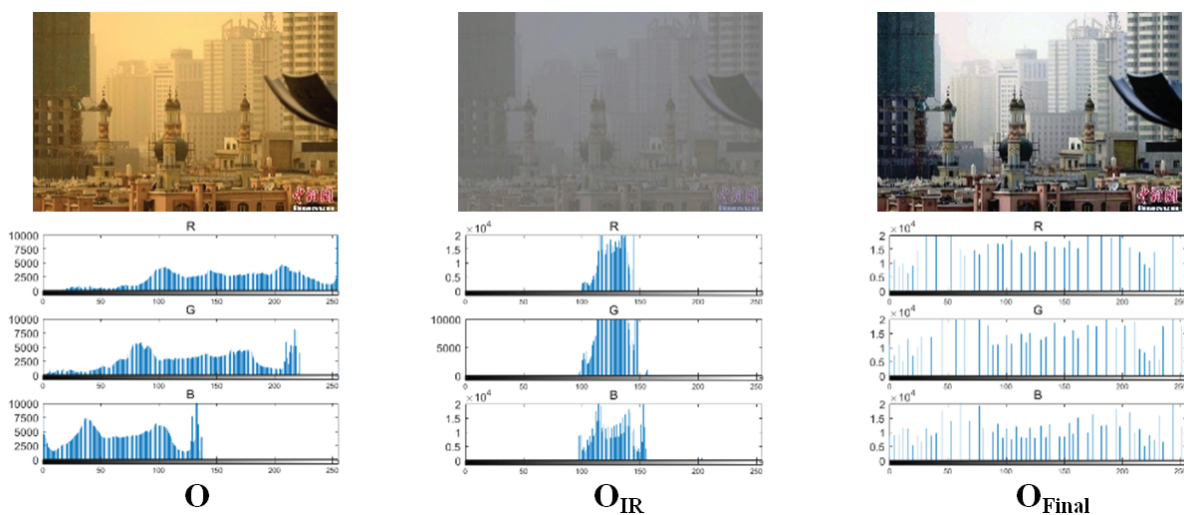


图 1 颜色校正过程直方图变化

首先统计输入图像各灰度值的像素个数, 求得图像的灰度直方图 $h(i)$, i 为像素的灰度值, 动态范围分布为 $[0, L-1]$, 其中 L 为素有图像像素的灰度级的数量, 再将 $h(i)$ 除以全部像素的数量 N , 得到概率分布直方图 $p(i)$:

$$p(i) = h(i)/N, i \in [0, L-1] \quad (4)$$

通过概率分布直方图 $p(i)$ 求图像的累积分布直方图 $cdf(i)$ 即:

$$cdf(i) = \sum_{j=0}^i p(j), i \in [0, L-1] \quad (5)$$

累积分布直方图 $cdf(i)$ 乘以总的灰度范围四舍五入取整后得到映射表 $Tab(i)$:

$$Tab(i) = round(L-1) \times cdf(i), i \in [0, L-1] \quad (6)$$

通过映射 $Tab(i)$ 对输入图像进行映射,均衡化图像.经过全局直方图均衡化得到 O_{Final} ,这时图像的色偏已经得到了一个较好的校正,由于经过基于统计的方法进行去偏色时会对图像各通道直方图进行压缩,但由于全局直方图均衡化算法会合并相邻灰度值,虽然有效去除了偏色但是导致图片的细节部分丢失严重,并且图片中引入了大量的噪音,天空区域出现光晕现象,这时本文引入和改进MKLCM方法,在恢复图像色彩的同时,可以保留图像细节,同时减少了噪音的引入.

1.2 MKLCM色彩迁移

颜色迁移是图像处理中一项很重要的方法,涉及到平衡颜色、混合颜色通道或者调整对比度, MKLCM算法^[19]的目的是寻找一个最佳的线性变换,去实现图像之间的色彩迁移.该模型基于Monge-Kantorovitch理论^[23]的大数据理论,主要思想是通过第二统计矩阵即均值和协方差的转移来实现颜色的线性变换,该算法使颜色的变化量最小,减少了噪音的引入,同时较好地保证了参考图与原图之间良好的色彩迁移,与上面算法相结合时可以在保证颜色均衡的同时,较好地保留图片的细节,减少图像噪音的引入以及抑制天空区域的光晕现象.

将原始图片看作一组颜色样本 u ,目标图像表示为 v ,其中 u 、 v 布对应于图像的调色板,色彩迁移的目标是找到一个变换函数,将原图的分布映射为目标图像的分布,使得 $t(u)$ 的颜色分布和 g 相匹配:

$$f(u)du = g(v)dv \quad (7)$$

$$f(u)g(t(u))|detJ_t(u)| \quad (8)$$

$J_t(u)$ 是 u 处 t 的雅可比,约束一般情况下非常复杂, MKLCM算法选取的是线性映射,表现形式为:

$$t(u) = T(u - u_{mean}) + v_{mean} \quad (9)$$

式中: T 是一个 $N \times N$ 矩阵(颜色的维度 N 为3), u_{mean} 和 v_{mean} 分别代表 u 和 v 的均值.色彩迁移中的映射应该是单调的,即较亮区域映射到较亮的区域,较暗区域映射到较暗的区域,否则图像的统计规律虽然匹配,但是色彩的映射可能会出现错误,导致图像色彩出现失真.为了让像素有正确的映射,通过给转移函数增加约束,同时最小化其置换成本来实现,寻找最小唯一映射的问题是MK(Monge-Kantorovitch)最优传输要解决的问题:

$$I(t) = \int_u \|t(u) - u\|^2 f(u) du \quad (10)$$

MK最优传输的解是一直存在的,同时对连续的概率密度函数是唯一的,而且是凸函数的梯度,这保证了映射是单调的,即可以正确地映射像素,同时对于非高斯分布和高斯分布,其映射是线性的,则矩阵 T 需要是正定对称的,这使得 T 具有唯一解:

$$T = \sum_u^{-\frac{1}{2}} \left(\sum_u^{\frac{1}{2}} \sum_v \sum_u^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \sum_u^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

MKLCM算法在处理图像时,可以保证色彩的正确映射,同时花费较少的资源达到较好的色彩迁移效果,本文在MKLCM算法的基础上在公式(9)中引入对比度系数和亮度系数,来矫正通过统计方法和全局直方图均衡化去偏色时低值像素点过多导致的图像整体偏暗、对比度过低的问题:

$$t(u) = aT(u - u_{mean}) + bv_{mean} \quad (12)$$

式中: a 是对比度矫正参数, b 是亮度矫正参数,两个参数选择过高或者过低,会出现细节丢失和过曝光的现象,正常场景图像三通道的直方图具有相似性,不同浓度的沙尘图像在直方图的表现不同,浓度较小的沙尘图像其直方图有着集中性、偏离性的同时也具有相似性,随着沙尘浓度的增加相似性会逐渐降低,在经过色彩矫正后,不同浓度的沙尘图像直方图的相似性均得到恢复,图像整体色调也得到了基本恢复,如图2所示.

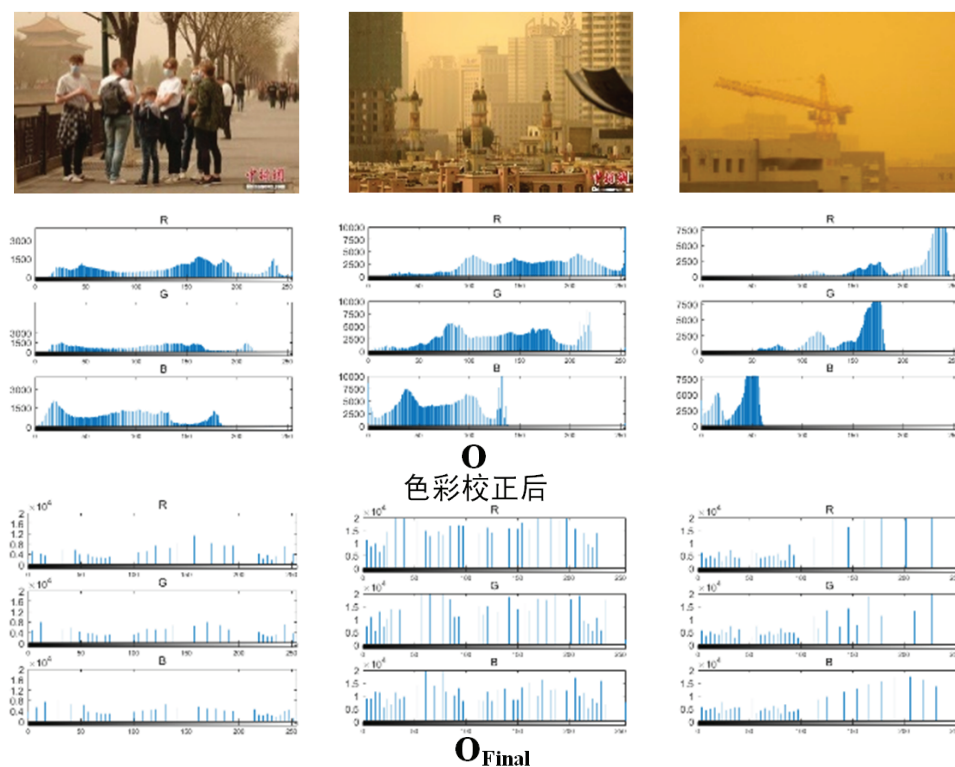


图 2 不同浓度沙尘图像颜色校正直方图变化

对比度、亮度矫正参数的调整针对的是图像明暗不均的现象, 沙尘浓度较大时可能会出现明暗不均的现象. 所以经过对多幅不同浓度的沙尘图像进行大量实验, 选择 $a=0.98$ 、 $b=1.1$ 时的主观效果最佳, 在对比度提升、保留图像细节的同时抑制了图像的过度曝光. 同时针对浓度较大的具有明暗不均现象的沙尘图像, 对比度矫正参数要偏小, 亮度矫正参数要偏大, 如此得到的图像最佳细节更多, 经过实验, 针对这类图像参数选择为 $a=0.83$ 、 $b=1.3$, 处理效果具有普适性, 近景恢复细节更多. 沙尘去除过程如图3所示, 可以看到, 原本偏移分散的图像直方图变得更均匀, 其中直方图从上到下分别是红、绿、蓝通道直方图, 色彩偏移被矫正, 对比度上升, 天空区域无光晕现象.

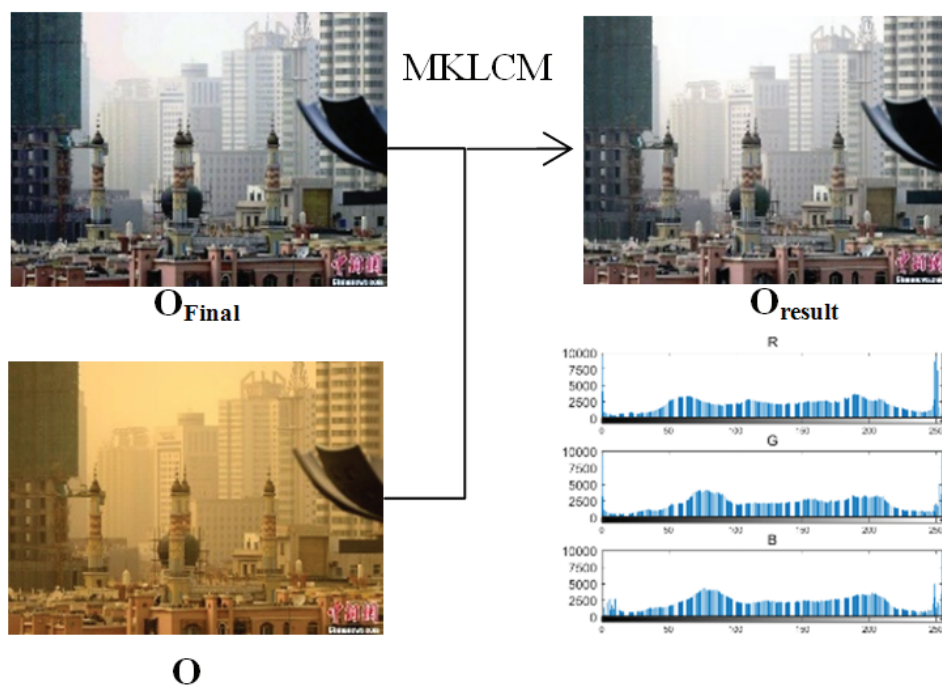


图 3 沙尘图像增强过程

1.3 蓝通道相关性

视频帧之间具有连续性、冗余性,通过判断图像统计信息的近似度可以避免算法重复运行,以及图像在算法处理后由于算法的特性导致的画面明暗闪烁,沙尘图像的反射特性决定了对蓝色光的吸收随着浓度的增加而增强,相似浓度的沙尘图像整体的统计量是近似的,因此通过对蓝色通道直方图的对比,可以在保证视频连续性的同时最大程度地节省资源消耗.本文选用直方图间的相关性来判断相邻视频帧的相似性:

$$d(H_k, H_{k+1}) = \frac{\sum_I (H_k(I) - \bar{H}_k)(H_{k+1}(I) - \bar{H}_{k+1})}{\sqrt{\sum_I (H_k(I) - \bar{H}_k)^2 \sum_I (H_{k+1}(I) - \bar{H}_{k+1})^2}} \quad (13)$$

$$\bar{H}_k = \frac{1}{N} \sum_J H_k(J) \quad (14)$$

式中: H_k 和 H_{k+1} 分别为第 k 帧和第 $k+1$ 帧图像蓝通道的直方图, N 是直方图中 bin 的数目,由于监控视频变化是缓慢的,帧间又具有冗余性,参数选择过小可能会出现算法不再更新统计量的情况,从而导致画面出现失真;参数选择过大则会导致算法失效的同时无法减少视频处理时间.通过观察多个视频中场景变化与相关性的关系,得出当相关性阈值为 0.999 时可以保证算法的有效运行.为了更直观展示,分别选取相关性阈值为 0.99 和 0.999 时进行对比试验,选取场景变化缓慢的沙尘视频,计算各个相关性阈值下算法从第一次更新和到第二次更新前一帧的无参数处理的统计量 O_{mean}^c . 其中:从第 1 帧开始第一次更新参数,当参数等于 0.99 时到第 103 帧更新第二次参数;当参数等于 0.999 时到第 6 帧第二次更新参数,分别测量第 1 帧和应用各参数第二次更新的前一帧无参数处理的统计量,测量结果如表 1 所示.

由表 1 可知,同一个沙尘视频下应用不同的参数,当参数为 0.99 时,第二次更新参数的帧数为从第一帧到第 103 帧,即从第一帧到第 102 帧应用同一个统计量进行计算,但是通过对第 102 帧图像手动进行处理计算时,发现第一帧和第 102 帧的统计量相差较大,同时在视频处理时观察到,该参数下算法对图像沙尘浓度

变化较小或者在场景内物体变化不敏感,导致视频帧容易出现颜色失真等现象;当参数等于 0.999 时,针对视频中物体及沙尘条件的变化较为敏感,对于一些轻微变化不敏感,同时更新区间内统计量的变化较小,这保证了视频帧处理后无失真.真实场景中,监控图像是缓慢变化甚至是几乎不变的,这时应用两个参数所节省的时间是差不多的,但是参数为 0.999 时,在保证处理质量的基础上还可以有效减少处理时间.综上所述,选择 0.999 作为参数的相关性阈值,当两帧之间的相关性低于 0.999 时判定两张图片的统计量近似,不重新执行算法运算.

1.4 本文算法流程

本文算法流程如图 4 所示,具体实现过程如下:

(1) 提取视频帧 K , 通过基于统计学原理的方法对直方图进行压缩,其中参数设为 $\eta=0.2$,然后通过全局直方图均衡化算法对图像进行非线性拉伸,将图像各像素点映射在 $[0, 255]$ 的范围内.

(2) 将处理过的图片作为参照图,利用改进的 MKLCM 算法进行处理,其中对比度和亮度矫正参数分别为 $a=0.98$ 、 $b=1.1$,得到最终的结果图.

(3) 对比第 K 帧和第 $K+1$ 帧 B 通道直方图的相关性,大于 0.999 则直接应用 K 帧的统计量进行处理 $K+1$ 帧图像,反之重新计算 $K+1$ 帧的统计量.

2 实验结果分析

本文所用的沙尘图像和视频来自网络资源,实验的软件平台为 Matlab 2017b,硬件平台为 Intel(R) Core(TM) i5-6500 CPU@ 3.2 GHz、内存 4 GB、64 位操作系统的计算机.为了对比算法的有效性分别选取文献[11]的算法、文献[12]的算法、文献[16]的算法和文献[24]的算法从单幅图片去沙尘、视频去沙尘两个方面给出了主观比较和

表 1 统计量对比

帧数(参数)	O_{mean}^r	O_{mean}^g	O_{mean}^b
1 (~)	118.8	149.7	153.3
102 (0.99)	120.8	150.8	156.8
5 (0.999)	118.7	149.6	153.2

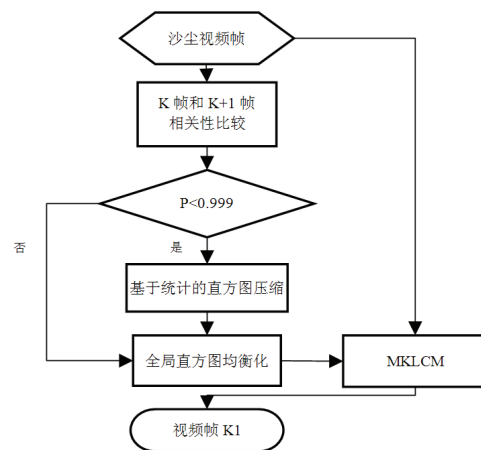


图 4 本文算法流程图

客观比较, 其中文献[24]的算法是一种快速除雾算法, 利用拉伸的方法估计亮度和饱和度, 通过无先验的方法推导介质传输函数, 虽然是除雾算法, 但是文献中还提出了一种白平衡的方法去除沙尘色偏, 对沙尘图像处理也有着较好的效果.

2.1 主观评价

为了直观对比算法去沙尘的效果, 我们准备了4组数据, 如图5所示, 从上到下分别是图a、b、c、d, 选取了近三年兼顾处理速度和处理效果的沙尘图像处理算法, 每列分别对应文献[11]的算法、文献[12]的算法、文献[16]的算法、文献[24]的算法和本文算法. 主观上来看, 针对天空区域文献[12]的算法会出现大面积的光晕现象, 同时对于亮度较低的图像其结果会偏暗, 远景的对比度下降, 图像模糊; 对于文献[11]的算法来说, 虽然没有大面积光晕现象, 远景部分的对比度也增加了, 但是对色偏的处理不是很理想, 比如说4幅图背景都有不同程度的色偏现象, 整体的图像呈冷色调; 文献[16]的算法对于部分图像效果不错 (如图d), 但其他图片有着较严重的失真问题, 针对图a, 虽然背景无大面积色偏、天空区域也无光晕, 但是图像结构被破坏, 远景部分对比度降低、模糊; 文献[24]的算法处理后的效果整体偏冷色调, 部分图片 (如图a、图b) 出现了大块的色彩失真现象. 本文算法相比其他算法, 天空部分不会出现光晕, 图a相对于文献[11]、文献[12]的算法色偏程度明显减少, 相对于文献[16]的算法虽然仍有偏色现象, 但是远景更加清晰, 图b、图c中文献[11]的算法对比度较其他算法好一点, 但是有较大的色偏问题存在, 本文算法较文献[12]的算法对于远景的处理相对更清晰一点. 图d中虽然发生了轻微的曝光过度现象, 但是较其他算法来说, 图片整体对比度更高, 色偏更少. 经过对其他数据的实验, 本文算法对于不同场景、不同环境下的图像普适性更强, 同时天空区域、远景去色偏的效果较好, 符合视频场景环境变化多进行除沙尘的要求.

2.2 客观评价

本文针对视频帧处理质量和视频处理实时性进行对比. 实时性分别比较对比算法和本文算法的单幅图片处理速度以及视频处理速度. 同时沙尘图像的真实参考图像难以取得, 因此图片以及视频帧质量用 $NBIQA^{[25]}$ (a Novel Blind Image Quality Assessment Method) 一种无参考图像质量指标来测量, $NBIQA$ 相对于其他测量指标可以更好地反映出真实图像的特征, 更为接近人类视觉系统, 可以有效地评价图片质量, 其中对于真实场景图片质量评价, 分数越高表示图像质量越好. 本文选取了包括主观评价中的4组图片 (如图5所示) 等10幅图像计算其 $NBIQA$ 值, 以及帧数分别为936帧和406帧的包含不同浓度的沙尘天气以及白天夜晚情况下等多个场景的2个视频计算其平均 $NBIQA$ 值, 来观察算法应用于图片和视频时的处理效果和普适性, 对比数据见表2、表3. 为了测定其运算速度分别选取大小不一的图片和时长不一的视频计算其运行时间, 对比数据见表4、表5. 其中加粗字体为表格内最优数据.

表 2 无参考图像质量指标 $NBIQA$

图片	文献[11]	文献[12]	文献[16]	文献[24]	本文算法
a	60.734 8	64.937 5	60.307 1	60.760 5	65.425 2
b	73.099 9	83.889 2	71.990 1	65.282 2	83.662 2
c	68.865 5	64.126 2	76.422 2	77.478 4	86.916 9
d	76.779 7	80.288 2	73.175 5	68.958 3	85.226 7
e	57.527 2	62.882 7	58.298 9	52.630 3	64.490 9
f	69.136 6	83.401 8	75.255 0	60.760 5	87.740 8
g	62.921 8	62.259 4	52.417 2	54.415 0	64.172 5
h	70.182 3	70.572 2	64.932 0	58.975 4	70.987 8
i	55.063 9	65.180 3	64.569 8	50.095 1	69.037 0
j	63.266 5	81.055 6	73.025 4	67.803 7	83.760 2

表 3 视频平均 $NBIQA$ 质量

视频	文献[11]	文献[12]	文献[16]	文献[24]	本文算法
1	38.89	40.49	35.36	40.34	41.02
2	60.07	50.16	62.69	50.31	60.09

表 4 单帧处理时间/s

图片	文献[11]	文献[12]	文献[16]	文献[24]	本文算法
a	0.425	2.175	1.261	0.365	0.289
b	0.397	1.985	1.300	0.292	0.277
c	0.299	0.792	1.406	0.072	0.257
d	0.418	2.173	1.437	0.339	0.287

表 5 视频处理总时间/s

视频	文献[11]	文献[12]	文献[16]	文献[24]	本文算法
1	634.4	3 822.1	2 307.0	649.1	296.3
2	83.2	623.8	408.2	116.3	65.1

正如表1所展示的, 本文算法针对图片去沙尘的 $NBIQA$ 指标优于其他对比算法. 表4、表5展示了本文处理图像的时间相对于其他对比算法大多数情况下耗时更短, 由于文献[24]算法的处理速度与数据大小相关联, 在处理图c时运行速度相比其他算法更有优势,

但是处理结果出现了严重的色彩失真. 综合来看, 本文算法在保证处理速度的同时处理效果更佳, 在性能更好的设备上可以满足监控视频去沙尘的实时性. 视频的平均 $NBIQA$ 相比单幅图像的 $NBIQA$ 指数更能体现出算法的普适性, 特别是包括各种场景的沙尘视频来说, 表3展示了相比文献[11]、文献[12]和文献[24]的算法, 本文算法表现更好, 虽然本文算法在平均 $NBIQA$ 指数表现上略低于文献[16]的算法, 但在相对处理速度上表现更好, 文献[16]的算法在处理部分视频帧时, 去偏色的效果并不好, 导致虽然平均指标更高, 但是在处理后视频的表现并不好. 图6中选取了轻度沙尘视频中连续的三帧进行对比, 文献[16]的算法三帧之间的亮度有较大变化, 同时出现色彩失真, 所以无论是整体表现还是连续性上, 本文算法都更优. 从主观和客观表现看, 两个评价具有一致性, 体现了本文算法的优越性, 在去沙尘效果好的同时, 图像更为自然, 处理速度更快.

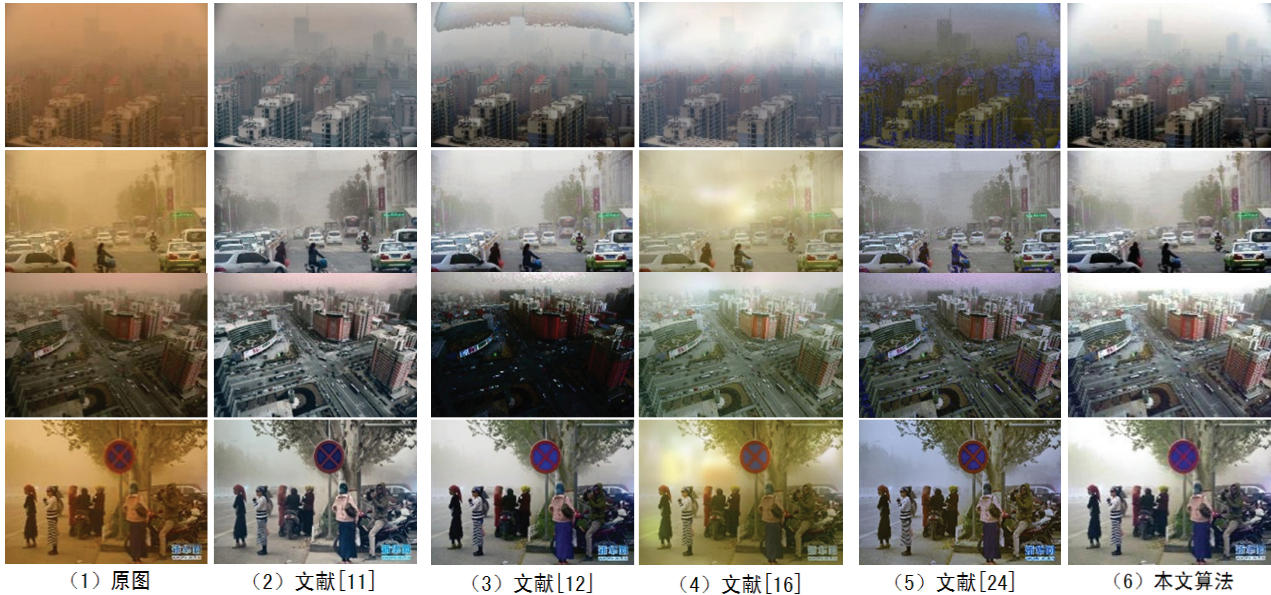


图 5 沙尘图像各算法处理结果

3 结语

沙尘天气下, 受空气中悬浮介质的影响, 采集的图像和视频出现模糊、色调偏移等现象, 导致对比度下降. 本文提出了一种基于色调迁移和统计的方法去除视频与图片中的沙尘, 根据沙尘图片的特性提出了一种基于统计的色彩校正方法进行色彩校正, 引入色调迁移方法去除沙尘, 同时提出通过蓝通道相关性判断视频帧的统计量的相似度来缩短算法运行时间, 并抑制视频处理中出现的亮度闪烁现象. 通过主观和客观评价, 本文算法在提升视频处理实时性的同时有效去除了色偏, 提升了对比度, 视频画面更加自然, 闪烁更少, 综合视频质量较高, 可以应用于视频监控和智慧交通领域.

参考文献:

[1] WANG J, PANG Y, HE Y, et al. Enhancement for dust-sand storm images[C]. New York: Springer Press, Proceedings of the 22nd International Conference on Multimedia Modeling, 2016: 842-849.
 [2] AL-AMEEN Z. Visibility enhancement for images captured in dusty weather via tuned tri-threshold fuzzy intensification operators[J]. International Journal of Intelligent Systems Technologies & Applications, 2016, 8(8): 10-17.
 [3] 乌音嘎. 沙尘环境下图像和视频增强算法的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2016.

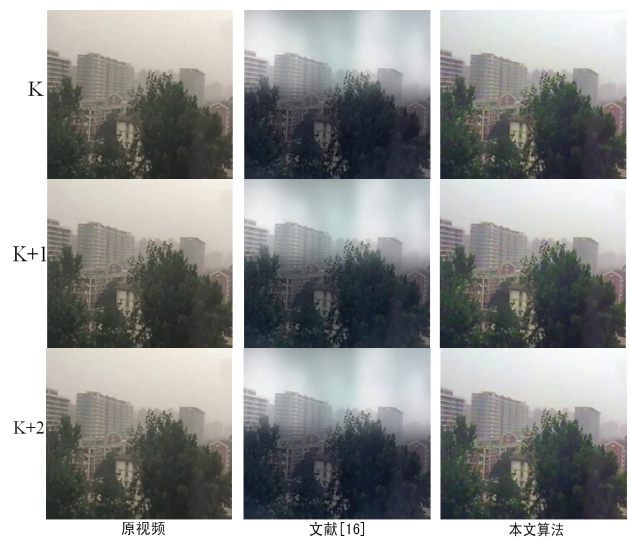


图 6 沙尘视频帧对比

- [4] HUANG S C, YE J H, CHEN B H. An advanced single-image visibility restoration algorithm for real-world hazy scenes[J]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2015, 62(5): 2962-2972.
- [5] NARASIMHAN S G, NAYAR S K. Chromatic framework for vision in bad weather[C]. Hilton Head: IEEE, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision & Pattern Recognition, 2000: 598-605.
- [6] DONG H, WANG X. Methods of restoring a weather degradation image based on physical model and their application[C]. Wuhan: IEEE, International Conference on Electrical & Control Engineering, 2010: 5323-5326.
- [7] PENG Y T, COSMAN P C. Single image restoration using scene ambient light differential[C]. Phoenix: IEEE, IEEE International Conference on Image Processing, 2016: 1953-1957.
- [8] HE K, SUN J, TANG X. Single image haze removal using dark channel prior[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, 33(12): 2341-2353.
- [9] 江海蓉. 极端天气条件下图像增强算法研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2016.
- [10] 李策, 刘昊, 陈晓雷, 等. 基于多感知特征计算的沙尘图像增强算法[J]. *兰州理工大学学报*, 2018, 44(4): 90-95.
- [11] SHI Z, FENG Y, ZHAO M, et al. Normalised gamma transformation-based contrast-limited adaptive histogram equalisation with colour correction for sand-dust image enhancement[J]. *IET Image Processing*, 2019, 14(4): 747-756.
- [12] YANG Y, ZHANG C, LIU L, et al. Visibility restoration of single image captured in dust and haze weather conditions[J]. *Multidimensional Systems and Signal Processing*, 2020, 31(2): 619-633.
- [13] 延婷, 汪烈军, 王佳星. 沙尘环境下视频图像增强方法的研究[J]. *激光杂志*, 2014, 35(4): 23-25.
- [14] 延婷. 基于沙尘环境下视频图像清晰化算法的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2015.
- [15] 智宁, 毛善君, 李梅. 沙尘降质图像清晰化算法[J]. *中国图象图形学报*, 2016, 21(12): 1585-1592.
- [16] 高古学, 赖惠成, 刘月琴. 结合CLAHE和改进MSRCR的沙尘图像增强[J]. *计算机仿真*, 2020, 37(8): 157-161+430.
- [17] ANCUTI C O, ANCUTI C, DE VLEESCHOUWER C, et al. Locally adaptive color correction for underwater image dehazing and matching[C]. Honolulu: IEEE, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2017: 1-9.
- [18] PROTASIUK R, BIBI A, GHANEM B. Local color mapping combined with color transfer for underwater image enhancement[C]. Waikoloa: IEEE, 2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision(WACV), 2019: 1433-1439.
- [19] PITIE F, KOKARAM A. The linear Monge-Kantorovitch linear colour mapping for example-based colour transfer[C]. London: IET, 4th European Conference on Visual Media Production, 2007: 1-9.
- [20] FU X, HUANG Y, ZENG D, et al. A fusion-based enhancing approach for single sandstorm image[C]. Jakarta: IEEE, 2014 IEEE 16th International Workshop on Multimedia Signal Processing(WMSP), 2014: 1-5.
- [21] PIZER S M, JOHNSTON R E, ERICKSEN J P, et al. Contrast-limited adaptive histogram equalization: speed and effectiveness[C]. Atlanta: IEEE, 1990 Proceedings of the First Conference on Visualization in Biomedical Computing, 1990: 337-345.
- [22] WANG Q, WARD R K. Fast image/video contrast enhancement based on weighted thresholded histogram equalization[J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2007, 53(2): 757-764.
- [23] EVANS L C. Partial differential equations and Monge-Kantorovitch mass transfer[J]. *Current Developments in Mathematics*, 1997, 1: 65-126.
- [24] KIM S E, PARK T H, EOM I K. Fast single image dehazing using saturation based transmission map estimation[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2019, 29: 1985-1998.
- [25] OU F Z, WANG Y G, ZHU G. A novel blind image quality assessment method based on refined natural scene statistics[C]. Taipei: IEEE, 2019 IEEE International Conference on Image Processing(ICIP), 2019: 1004-1008.

责任编辑: 张自强